

## Durchflußmeßgerät

Die Erfindung bezieht sich auf ein Durchflußmeßgerät mit zumindest zwei Ultraschallwandlern und einer Regel-/Auswerteeinheit. Die Ultraschallwandler sind an einem Behältnis angebracht, das von einem Medium in einer Strömungsrichtung durchströmt wird. Anhand der Laufzeitdifferenz der Meß-signale, die sich in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung des Mediums ausbreiten, ermittelt die Regel-/Auswerteeinheit den Volumen-durchfluß des Mediums in dem Behältnis.

Ultraschall-Durchflußmeßgeräte der zuvor beschriebenen Art, die den Volumendurchfluß mittels der sog. Lauzeitdifferenz-Methode ermitteln, werden vielfach in der Prozeß- und Automatisierungstechnik eingesetzt. Sie erlauben es, den Volumendurchfluß in einem Behältnis, z.B. in einer Rohrleitung, berührungslos zu bestimmen.

Unterschieden wird zwischen Ultraschall-Durchflußmeßaufnehmern, die in die Rohrleitung eingesetzt werden, und Clamp-On Durchflußmeßgeräten, bei denen die Ultraschallwandler von außen an das Leitungsrohr mittels eines Spannverschlusses angepreßt werden. Clamp-On Durchflußmeßgeräte sind beispielsweise in der EP 0 686 255 B1, der US-PS 4,484,478 oder der US-PS 4,598,593 beschrieben.

Bei beiden Typen von Ultraschall-Durchflußmeßgeräten werden die Ultraschall-Meßsignale unter einem vorgegebenen Winkel in das Behältnis, in dem sich das Medium befindet, eingestrahlt. Bei Ultraschall-Durchflußmeßaufnehmern ist die jeweilige Position der Ultraschallwandler am Meßrohr abhängig von dem Innendurchmesser des Meßrohres und von der Schallgeschwindigkeit des Mediums. Da der Innendurchmesser des Meßrohres von der Fertigung her bekannt ist, verbleibt - je nach Applikationsfall – höchstens die Schallgeschwindigkeit des Mediums als nur näherungsweise bekannter Parameter.

Bei Clamp-On Durchflußmeßgeräten kommen als weitere Applikations-parameter, denen mitunter ein relativ großer Fehler anhaftet, die Wandstärke der Rohrleitung und die Schallgeschwindigkeit des Materials der Rohrleitung hinzu.

Je nach Applikationsfall tritt bei Clamp-On Durchflußmeßgeräten noch eine weitere Fehlerquelle auf. Ein Ultraschallwandler, der bei einem Clamp-On Durchflußmeßgerät eingesetzt wird, weist zumindest ein die Ultraschall-Meßsignale erzeugendes piezoelektrisches Element und einen Koppelkeil auf. Dieser Koppelkeil ist üblicherweise aus Kunststoff gefertigt und dient einer-seits der Impedanzanpassung und andererseits dem Schutz des piezo-elektrischen Elements.

Die in einem piezoelektrischen Element erzeugten Ultraschall-Meßsignale werden über den Koppelkeil bzw. einen Vorlaufkörper und die Rohrwand in das flüssige Medium geleitet. Da die Schallgeschwindigkeiten in einer Flüssigkeit und in Kunststoff voneinander verschieden sind, werden die Ultraschallwellen beim Übergang von einem Medium in das andere gebrochen. Der Brechungswinkel selbst bestimmt sich nach dem Snellius Gesetz, d.h der Brechungswinkel ist abhängig von dem Verhältnis der Ausbreitungsgeschwindigkeiten der beiden Medien.

Mit Koppelkeilen bzw. Vorlaufkörpern aus Kunststoff lässt sich i.a. eine gute Impedanzanpassung erzielen; allerdings zeigt die Schallgeschwindigkeit von Kunststoff eine relativ starke Temperaturabhängigkeit. Typischerweise verändert sich die Schallgeschwindigkeit von Kunststoff von ca. 2500 m/s bei 25° C auf ca. 2200 m/s bei 130° C. Zusätzlich zu der durch die Temperatur hervorgerufenen Änderung der Laufzeit der Ultraschall-Meßsignale im Kunststoff des Koppelkeils, ändert sich auch die Ausbreitungsrichtung der Ultraschall-Meßsignale in dem strömenden Medium. Beide Änderungen wirken sich bei einem nach der Laufzeitdifferenz-Methode arbeitenden Ultraschall-Durchflußmeßgerät daher ungünstig auf die Meßgenauigkeit aus.

Die Winkelpositionierung der Ultraschallwandler ist bei den bekannten Durchflußmeßgeräten fest vorgegeben. Zwecks Erstmontage oder im Falle späterer Applikationsänderungen ist es aufgrund des Zuvorgesagten erforderlich, den Abstand der beiden Ultraschallwandler definiert aufeinander einzustellen. Hierzu wird üblicherweise einer der beiden Ultraschallwandler solange relativ zum anderen verschoben, bis die Position ermittelt ist, in der die Intensität der von den Ultraschallwandlern empfangenen Meßsignale maximal ist. Nachdem der optimale Abstand der beiden Ultraschallwandler auf diesem 'Trial/Error' Weg ermittelt ist,

werden die beiden Ultraschallwandler in der ermittelten Position fest an der Rohrwand arretiert. Dieses Verfahren ist natürlich relativ zeitintensiv.

Hinzu kommt, daß einige der Applikationsparameter, die insbesondere bei einem Clamp-On Durchflußmeßgerät zur exakten Bestimmung des Volumen-durchflusses notwendig sind, in den seltensten Fällen genau genug bekannt sind; oder aber die Ermittlung dieser Parameter ist ziemlich aufwendig. Während die Bestimmung des Außendurchmessers der Rohrleitung kaum Probleme bereitet, kann die exakte Ermittlung der Wandstärke der Rohrleitung durchaus problematisch sein. In vielen Fällen ist darüber hinaus weder die Schallgeschwindigkeit des Materials der Rohrleitung noch die Schallgeschwindigkeit des Mediums exakt bekannt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine kostengünstige Vorrichtung zur hochgenauen Bestimmung und/oder Überwachung des Volumendurchflusses in einem Behältnis vorzuschlagen.

Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Ultraschallwandler so ausgebildet sind, daß sie Meßsignale bzw. Schallfelder mit einem großen Öffnungswinkel aussenden und empfangen. Aufgrund der räumlich ausgedehnten Abstrahl-bzw. Empfangscharakteristik werden die Ultraschall-Meßsignale in einen weiten Winkelbereich eingestrahlt bzw. aus einem weiten Winkelbereich empfangen. Kurz gesagt, findet eine definierte, gewünschte Strahlaufweitung statt. Hierdurch ist der Ort der Montage der Ultraschallwandler weitgehend unabhängig von dem Durchmesser der Rohrleitung und von der Schallgeschwindigkeit des in der Rohrleitung strömenden Mediums.

Allgemein lässt sich sagen, daß gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung die beiden Ultraschallwandler in einem definierten Abstand voneinander angeordnet sind, wobei der Abstand der beiden Ultraschallwandler nur von dem Öffnungswinkel der Meßsignale bzw. der Schallfelder abhängig ist; der Abstand der beiden Ultraschallwandler ist hingegen unabhängig von anderweitigen System- und/oder Prozeßgrößen. Bei diesen für eine hohe Meßgenauigkeit wichtigen System- und Prozeß-größen handelt es sich – wie bereits an vorhergehender Stelle erwähnt - um die Schallgeschwindigkeit des Mediums, um die Schallgeschwindigkeit des Materials der Rohrleitung, um die Wandstärke der Rohrleitung oder um den Innendurchmesser der Rohrleitung.

Bevorzugt handelt es sich bei dem Durchflußmeßgerät um ein Clamp-On Durchflußmeßgerät.

Der zur Bestimmung und/oder Überwachung des Volumendurchflusses des Mediums in der Rohrleitung verwendete Schallpfad ist (in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung) vorgegeben durch den Ort der Ultraschallwandler an der Rohrleitung und nicht durch die Abstrahlrichtung der Ultraschallwandler. Damit ist die Erstmontage des erfindungsgemäßen Clamp-On Durchfluß-meßgeräts natürlich gegenüber den aus dem Stand der Technik bekannt gewordenen Lösungen erheblich vereinfacht. Des Weiteren erübrigen sich auch allfällige Nachjustierungen, die bei den bekannten Lösungen bislang notwendig waren, sobald Prozeß- oder Systemveränderungen aufgetreten sind.

Eine besonders kostengünstige Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht vor, daß es sich bei einem piezoelektrischen Element, das in einem Ultraschallwandler eingesetzt wird, um ein scheibenförmiges piezo-elektrisches Element handelt. Ein z.B. kreisscheibenförmiges piezo-elektrisches Element hat einen intrinsischen Öffnungswinkel  $\gamma$ , der durch die folgende mathematische Formel definiert ist:  $\sin(\gamma) = 1.22 \lambda/D$ , wobei  $\lambda$  die Wellenlänge der Ultraschall-Meßsignale im Medium und  $D$  den Durchmesser des kreisscheibenförmigen piezoelektrischen Elements kennzeichnet. Somit läßt sich beispielsweise über den Durchmesser eines piezoelektrischen Elements eine gewünschte Strahlaufweitung erreichen. Eine zusätzliche oder alternative Defokussierung und damit Strahlaufweitung wird dadurch erreicht, daß eine akustische Streulinse eingesetzt wird. Alternativ kann eine akustische Linse verwendet werden, wobei darauf geachtet werden muß, daß die Ultraschall-Meßsignale nicht im Fokus der Linse in die Rohrleitung eingestrahlt bzw. aus der Rohrleitung empfangen werden.

Gemäß einer vorteilhaften alternativen Ausgestaltung von Ultraschallwandlern mit einer breiten Abstrahl- bzw. Empfangscharakteristik sind mehrere piezoelektrischen Elementen als Sende-und/oder Empfangselemente vorgesehen sind, wobei die Sende- und/oder Empfangselemente in einem Array angeordnet sind. Jede gewünschte Abstrahl- bzw. Empfangs-charakteristik bzw. Strahlaufweitung läßt sich über eine entsprechende elektronische Ansteuerung der einzelnen piezoelektrischen Elemente realisieren. Insbesondere steuert die Regel-/Auswerteeinheit die piezo-elektrischen Elemente in dem Array an, wodurch letztlich

jede gewünschte Strahlaufweitung realisierbar ist. Derartige Arrays sind als Phasen-Piezo-Arrays käuflich zu erwerben und werden in der Medizintechnik und in der Werkstoffprüfung eingesetzt.

5 Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist der Mindestabstand der beiden Ultraschallwandler so bemessen ist, daß sich die Meßsignale, die wechselweise von den beiden Ultraschallwandlern ausgesendet und empfangen werden, über jeweils zumindest einen Schallpfad in dem vom Medium durchströmten Behältnis ausbreiten.

10 Ein großer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist darin zu sehen, daß die relative Position der beiden Ultraschallwandlern schon bei der Herstellung des Clamp-On Durchflußmeßgeräts fest vorgegeben sein kann. Da das Gerät nur noch an der Rohrleitung befestigt werden muß, entfallen die bislang notwendigen  
15 Justierungen und die relativ teuere Montagehilfe. Damit ist es auch erstmals möglich, daß ein Monteur ohne spezielle elektrische Fachkenntnisse das erfindungsgemäße Clamp-On Durchflußmeßgerät in Betrieb nehmen kann. Hierdurch wird Zeit und Geld eingespart.

20 Um ein erhöhtes Maß an Meßsicherheit zu erreichen, sieht eine vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung vor, daß der Mindestabstand der beiden Ultraschallwandler und der Öffnungswinkel der Meßsignale bzw. der Schallfelder so bemessen sind, daß sich die Meßsignale über zumindest zwei Schallpfade ausbreiten, wobei sich die beiden Schallpfade in der Anzahl der  
25 Traversen unterscheiden. Eine Traverse definiert übrigens den Teilbereich eines Schallpfades, auf dem ein Meßsignal den Behälter einmal quert.

Die zuvorgenannte Ausgestaltung eröffnet darüber hinaus noch weitere äußerst vorteilhafte Möglichkeiten. An vorhergehender Stelle wurde bereits darauf  
30 hingewiesen, daß es je nach Applikationsfall schwierig ist, den exakten Wert jeder einzelnen Prozeß- und Systemgröße zu ermitteln. Man behilft sich, indem üblicherweise Schätzwerte in die Berechnungen einfließen – eine Methode, die qualitativ hochwertigen Meßergebnissen nicht notwendigerweise angemessen ist. Alternativ werden die Applikationsparameter bzw. die Prozeß- und Systemgrößen  
35 auf aufwendige Art und Weise ermittelt.

Für dieses Problem stellt eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine sehr zuverlässige und einfache Lösung bereit: Die Regel-/Auswerteeinheit errechnet anhand der Laufzeit der Meßsignale, die sich in Strömungsrichtung und entgegen der Strömungsrichtung in dem vom Medium durchströmten Behältnis auf zumindest zwei unterschiedlichen Schallpfaden ausbreiten, zumindest eine der System- oder Prozeßgrößen, die zur Bestimmung des Volumenstroms des Mediums in dem Behältnis erforderlich ist.

5

10 Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher erläutert.  
Es zeigt:

15

Fig. 1: eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung und

Fig. 2: einen Graphen, der die Abhängigkeit der Amplitude der Ultraschall-Meßsignale aus Fig. 1 in Abhängigkeit von der Laufzeit wiedergibt.

20

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschall-Durchflußmeßgerätes 1. Bei dem Meßgerät 1 handelt es sich im gezeigten Fall um ein Clamp-On Durchflußmeßgerät. Das Meßgerät 1 ermittelt den Volumendurchfluß des Mediums 9 in dem Rohr 7 nach der bekannten Laufzeitdifferenz-Methode.

25

Wesentliche Komponenten des Clamp-On Ultraschall-Durchflußmeßgerätes 1 sind die beiden Ultraschallwandler 2, 3 und die Regel-/Auswerteeinheit 6. Die beiden Ultraschallwandler 2, 3 sind mittels einer in der Fig. 1 nicht gesondert dargestellten Befestigungsvorrichtung an dem Rohr 7 angebracht. Entsprechende

30

Befestigungsvorrichtungen sind aus dem Stand der Technik hinlänglich bekannt und werden auch von der Anmelderin angeboten und vertrieben. Das Rohr 7 mit dem Innendurchmesser  $d_i$  wird von dem Medium 9 in Strömungsrichtung S durchströmt.

35

Ein Ultraschallwandler 2; 3 weist als wesentliche Bestandteile zumindest ein piezoelektrisches Element 4, 5, das die Ultraschall-Meßsignale erzeugt und/oder

empfängt, und einen Koppelkeil auf. Die Ultraschall-Meßsignale werden über den Koppelkeil in das vom Medium 9 durchströmte Rohr 7 eingekoppelt bzw. aus dem Rohr 7 ausgekoppelt.

5 Die beiden Ultraschallwandler 2, 3 sind derart ausgestaltet, daß sie Ultra-schall-Meßsignale bzw. Schallfelder mit einem großen Öffnungswinkel  $\gamma$  bzw. mit einer großen Strahlauflaufweitung aussenden und empfangen. Der Abstand  $L$  der beiden Ultraschallwandler 2, 3 ist daher nur abhängig von dem - im Prinzip beliebig konfigurierbaren - Öffnungswinkel  $\gamma$  der Ultraschall-Meß-signale bzw. der Schallfelder. Damit kann der Abstand  $L$  der beiden Ultraschallwandler 2, 3 ggf. schon bei der Fertigung fest eingestellt werden, da er unabhängig von anderweitigen System- und/oder Prozeßgrößen ist. Bei diesen System- und Prozeßgrößen handelt es sich beispielsweise um den Innendurchmesser  $di$  des Rohres 7, um die Wandstärke  $w$  des Rohres 7, um die Schallgeschwindigkeit  $cr$  des Materials, aus dem das Rohr 7 gefertigt ist, oder um die Schallgeschwindigkeit  $c$  des Mediums 9. Hierdurch wird der Installationsaufwand erheblich reduziert; spätere Nachjustierungen aufgrund von Prozeß- und/oder Systemänderungen sind überflüssig.

10 15 20 25 Erfindungsgemäß kann der Mindestabstand  $L_{min}$  der beiden Ultraschall-wandler 2, 3 so bemessen sein, daß sich die Ultraschall-Meßsignale, die entsprechend der Laufzeitdifferenz-Methode wechselweise von den beiden Ultraschallwandlern 2, 3 ausgesendet und empfangen werden, über nur einen einen Schallpfad SP1; SP2 in dem vom Medium 9 durchströmten Behältnis 7 ausbreiten.

30 35 In Fig. 1 ist die bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zu sehen, bei der der Mindestabstand  $L_{min}$  der beiden Ultraschallwandler 2, 3 und der Öffnungswinkel  $\gamma$  der Ultraschall-Meßsignale bzw. der Schallfelder so bemessen sind, daß sich die Ultraschall-Meßsignale über zumindest zwei Schallfade SP1, SP2 ausbreiten, wobei sich beide Schallfade SP1, Sp2 in der Anzahl ihrer Traversen unterscheiden. Eine Traverse kennzeichnet übrigens den Teilbereich eines Schallfadens SP1; SP2, auf dem ein Ultra-schall-Meßsignal den Behälter 7 einmal quert.

In dem in Fig. 2 dargestellten Graphen ist die Amplitude der Ultraschall-Meßsignale, die sich auf den beiden Schallpfaden SP1, SP2 der Fig. 1 ausbreiten,

gegen die Laufzeit aufgetragen. Anhand der Laufzeitdifferenz der beiden Ultraschall-Meßsignale ermittelt die Regel-/Auswerteeinheit 6 einerseits den gewünschten Volumendurchfluß des Mediums 9 durch das Rohr 7; andererseits kann sie anhand der errechneten Werte weitere Applikationsparameter bestimmen.

5 Insbesondere handelt es sich hierbei um Applikationsparameter, bei deren Bestimmung üblicherweise auf Schätzwerte zurückgegriffen wird, da deren exakte Ermittlung mit zu hohem Aufwand verbunden wäre. Bei der erfindungsgemäßen Anordnung der Ultraschall-wandler 2, 3 ist es möglich, System- und

10 Prozeßparameter mit einer gewünschten hohen Genauigkeit anhand der Laufzeit der Meßsignale, die sich auf zwei verschiedenen Schallpfaden SP1, SP2 ausbreiten, zu errechnen.

Nachfolgend ist anhand eines mathematischen Modells eine Möglichkeit dargestellt, wie sich unbekannte Applikationsparameter anhand von Ultraschall-Meßsignalen, die auf zwei unterschiedlichen Schallpfaden SP1, SP2 mit einer unterschiedlichen Anzahl von Traversen  $n$  (siehe Fig. 1) in dem Medium 9 propagieren, errechnen lassen.

Die gemessene Laufzeit eines Schallpfades SP1; SP2 mit  $n$  Traversen sei  $t(n)$ .  
 20 Applikationsparameter sind die Rohrwandstärke  $w$ , die Schallgeschwindigkeit im Rohr  $c_r$ , der Innendurchmesser  $di$  des Rohres 7 und die Schallgeschwindigkeit  $c$  des Mediums 9. Die Distanz eines piezoelektrischen Elementes 2, 3 zur Rohrwand  $ds$ , der Abstand  $L$  und die Schallgeschwindigkeit  $cs$  im Vorlaufkörper 2; 3 sind bekannte Größen.

25 Seien  $\alpha(n)$ ,  $\alpha r(n)$  und  $\alpha s(n)$  die zunächst unbekannten Winkel eines Schallpfades SP1; SP2 im Medium 9, im Rohr 7 und im Ultraschallwandler 2, 3. Für diese gilt das Snellius Gesetz. Der Einfachheit halber ist der Index  $n$  bei der Gleichung weggelassen. Dann lauten die Gleichungen:  
 30

$$\frac{\sin(\alpha)}{c} = \frac{\sin(\alpha s)}{cs} \quad (1) \text{ und}$$

$$\frac{\sin(\alpha)}{c} = \frac{\sin(\alpha r)}{cr} \quad (2)$$

Folgendes Modell kann für die Laufzeiten angesetzt werden:

$$t(n) = ts(n) + tr(n) + tm(n) \quad (3),$$

5 wobei  $tr(n) = \frac{2w}{cr \cos(\alpha r)}$  die Laufzeit im Rohr,  $ts(n) = \frac{2ds}{cs * \cos(\alpha s)}$  die Laufzeit im  
Ultraschallwandler 2, 3 und  $tm(n) = \frac{n * di}{c \cos(\alpha)}$  die Laufzeit im Medium 9 ist.

Weiter gilt:

$$10 L = Ls(n) + Lr(n) + Lm(n) \quad (4),$$

mit den Strecken  $Ls(n) = 2ds \tan(\alpha s)$  im Ultraschallwandler 2, 3,

15  $Lr(n) = 2w \tan(\alpha r)$  im Rohr 7 und

$$Lm(n) = n * di \tan(\alpha) \text{ im Medium 9 entlang der Rohrachse 10.}$$

Damit ergeben sich für jeden Schallpfad SP1, SP2 vier Gleichungen (1) - (4) für  
20 drei unbekannte Winkel. Pro gemessener Laufzeit kann also das Gleichungssystem  
(ggf. numerisch) nach einem zusätzlichen Applikations-parameter aufgelöst  
werden. Bei einem Schallstrahl beispielsweise nach c, wenn alle anderen  
Applikationsparameter bekannt sind. Wird - wie in Fig. 1 und Fig. 2 dargestellt -  $t(2)$   
und  $t(4)$  gemessen, so können die Gleichungen bei bekannten w und cr nach c und  
di aufgelöst werden.

25 Das Modell lässt sich vereinfachen, indem man sowohl die Laufzeiten als auch die  
Laufstrecken im Ultraschallwandler 2; 3 und im Rohr 7 in den Gleichungen (3) und  
(4) approximativ behandelt. Dann gelten z.B. die folgende Beziehungen

$$30 Lr(n) \approx 0 \text{ und } Ls(n) \approx 0.$$

In Nähruung können die beiden Gleichungen (1) und (2) unberücksichtigt bleiben,  
wobei diese Approximation für große Innendurchmesser  $di$  des Rohres 7 durchaus  
gerechtfertigt.

35 Anhand der Messungen sind die Laufzeiten im Medium  $tm(n)$  mit Gleichung (3)  
bekannt, und es gilt:

$$L^2 = n^2 di^2 \frac{\sin^2(\alpha(n))}{\cos^2(\alpha(n))} = n^2 di^2 \left(1 - \frac{1}{\cos^2(\alpha(n))}\right) = n^2 di^2 - tm^2(n)c^2. \quad (5)$$

Für Laufzeitmessungen mit zwei Traversen und vier Traversen kann nachfolgend die Schallgeschwindigkeit  $c$  des Mediums 9 bzw. der Innendurchmesser  $di$  des  
5 Rohrs 7 entsprechend den beiden nachfolgend genannten Gleichungen errechnet werden:

$$c = L \sqrt{\frac{3}{tm^2(4) - 4tm^2(2)}} \text{ und} \quad (6)$$

$$10 \quad di = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{tm^2(4) - tm^2(2)}{tm^2(4) - 4tm^2(2)}}. \quad (7)$$

**Bezugszeichenliste**

5

1 Clamp-On Durchflußmeßgerät

2 Ultraschallwandler

3 Ultraschallwandler

4 Piezoelektrisches Element

10 5 Piezoelektrisches Element

6 Regel-/Auswerteeinheit

7 Behältnis / Rohrleitung / Rohr

8 Rohrwand

9 Medium

15 10 Rohrachse

 $w$  Wandstärke $cr$  Schallgeschwindigkeit des Rohrs 7 $c$  Schallgeschwindigkeit des Mediums 920  $di$  Innendurchmesser des Rohrs 7 $L$  Abstand der Ultraschallwandler 2, 3 $L_{min}$  Mindestabstand der Ultraschallwandler 2, 3 $\gamma$  Öffnungswinkel $tm(n)$  Laufzeit im Medium 925  $n$  Anzahl der Traversen $ds$  Distanz des piezoelektrischen Elements 4, 5 zur Rohrwand 8

SP1 erster Schallpfad

SP2 zweiter Schallpfad

30

## Patentansprüche

1. Durchflußmeßgerät mit zumindest zwei Ultraschallwandlern (2, 3), die an einem Behältnis (7) angebracht sind, das von einem Medium (9) in einer Strömungsrichtung (S) durchströmt wird, wobei die Ultraschallwandler (2, 3) wechselweise Ultraschall-Meßsignale in Strömungsrichtung (S) und entgegen der Strömungsrichtung (S) aussenden und empfangen, und mit einer Regel-/Auswerteeinheit (6), die anhand der Laufzeitdifferenz der Ultraschall-Meßsignale, die sich in Strömungsrichtung (S) und entgegen der Strömungsrichtung (S) ausbreiten, den Volumendurchfluß des Mediums (9) in dem Behältnis (7) bestimmt und/oder überwacht,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
wobei die Ultraschallwandler (2, 3) so ausgebildet sind, daß sie Ultraschall-Meßsignale bzw. Schallfelder mit einem großen Öffnungswinkel ( $\gamma$ ) bzw. mit einer großen Strahlauflaufweitung aussenden und empfangen.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die beiden Ultraschallwandler (2, 3) in einem definierten Abstand ( $L$ ) voneinander angeordnet sind, wobei der Abstand ( $L$ ) der beiden Ultraschallwandler (2, 3) nur von dem Öffnungswinkel ( $\gamma$ ) der Ultraschall-Meßsignale bzw. der Schallfelder abhängig ist und wobei der Abstand ( $L$ ) der beiden Ultraschallwandler (2, 3) unabhängig ist von anderweitigen System- und/oder Prozeßgrößen ( $w, cr, c, di$  ).
3. Vorrichtung nach Anspruch 2,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
wobei ein Mindestabstand ( $L_{min}$ ) der beiden Ultraschallwandler (2, 3) so bemessen ist, daß sich die Ultraschall-Meßsignale, die wechselweise von den beiden Ultraschallwandlern (2, 3) ausgesendet und empfangen werden, über jeweils zumindest einen Schallpfad (SP1; SP2) in dem vom Medium (9) durchströmten Behältnis (7) ausbreiten.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3,

**dadurch gekennzeichnet,**

wobei der Mindestabstand ( $L_{min}$ ) der beiden Ultraschallwandler (2, 3) und der Öffnungswinkel ( $\gamma$ ) der Ultraschall-Meßsignale bzw. der Schallfelder so bemessen sind, daß sich die Ultraschall-Meßsignale über zumindest zwei Schallpfade (SP1, SP2) ausbreiten, die sich in der Anzahl der Traversen ( $n$ ) unterscheiden, wobei eine Traverse den Teilbereich eines Schallpfades SP1; SP2 beschreibt, auf dem ein Ultraschall-Meßsignal den Behälter (7) einmal durchquert.

10 5. Vorrichtung nach Anspruch 4,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Regel-/Auswerteeinheit (6) anhand der Laufzeit ( $t(n)$ ) der Ultraschall-Meßsignale, die sich in Strömungsrichtung (S) und entgegen der Strömungsrichtung (S) in dem vom Medium (9) durchströmten Behältnis (7) auf zumindest zwei unterschiedlichen Schallpfaden (SP1, SP2) ausbreiten, zumindest eine der System- oder Prozeßgrößen ( $w, cr, c, di$ ) errechnet, die zur Bestimmung des Volumendurchflußses des Mediums (9) in dem Behältnis (7) erforderlich ist.

20 6. Vorrichtung nach Anspruch 5,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß es sich bei der zumindest einen System- oder Prozeßgröße um den Innendurchmesser ( $di$ ) des Behältnisses(7), um die Wandstärke ( $w$ ) des Behältnisses (7), um die Schallgeschwindigkeit ( $cr$ ) des Materials, aus dem das Behältnis (7) gefertigt ist, oder um die Schallgeschwindigkeit ( $c$ ) des Mediums (9) handelt.

25 7. Vorrichtung nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß jeder Ultraschallwandler (2, 3) zumindest ein piezoelektrisches Element (4, 5) als Sende- und/oder Empfangselement aufweist.

30 8. Vorrichtung nach Anspruch 7,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß es sich bei dem piezoelektrischen Element (4, 5) um ein scheiben-förmiges piezoelektrisches Element handelt, dem eine akustische Steulinse oder eine akustische Linse zwecks Strahlaufweitung zugeordnet ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß mehrere piezoelektrische Elementen (4, 5) als Sende-und/oder  
Empfangselemente vorgesehen sind, wobei die Sende- und/oder  
Empfangselemente in einem Array angeordnet sind.

5

10. Vorrichtung nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Regel-/Auswerteeinheit (6) die piezoelektrischen Elemente (4, 5) in dem  
Array so ansteuert, daß die vorgegebene Strahlaufweitung bzw. der gewünschte  
Öffnungswinkel ( $\gamma$ ) erreicht wird.

10

1/1

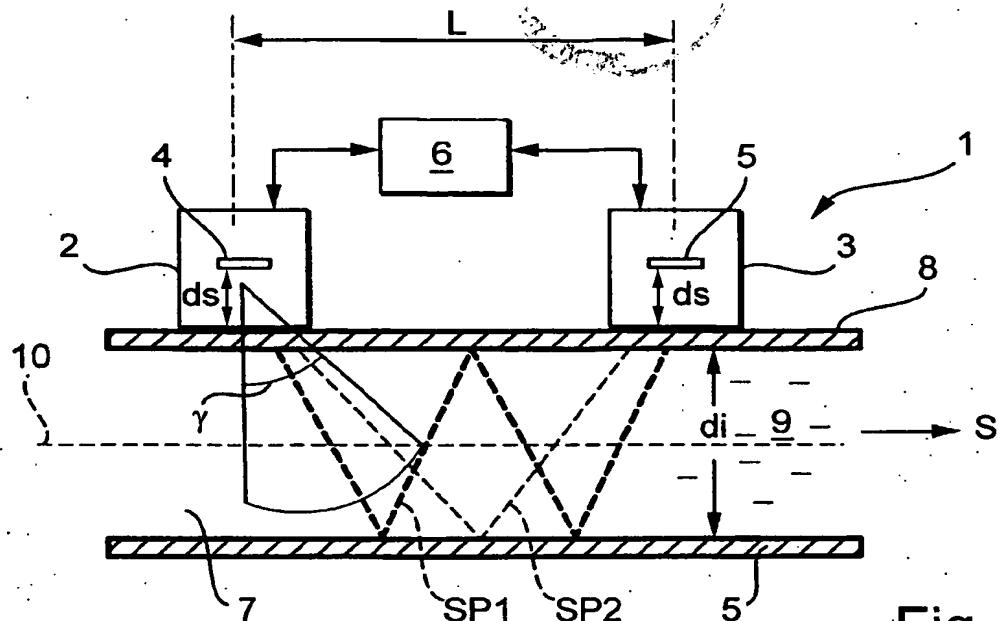


Fig. 1

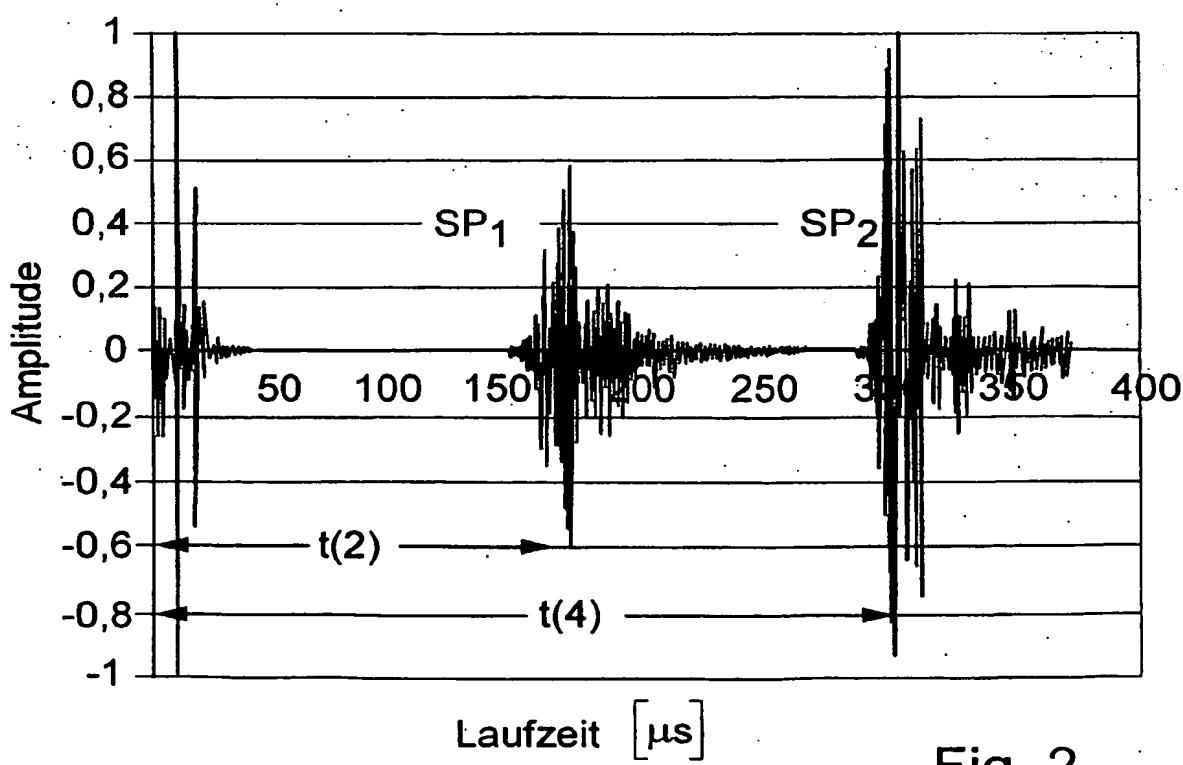


Fig. 2